

УДК 796.8:612.76

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/130/58>

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНИКИ БРОСКОВ У КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ БОРЦОВ

©*Карбаев Р. К.*, ORCID:0000-0001-7545-0397, канд. пед. наук,
Ошский государственный университет, г. Ош, Кыргызстан, karabaev.rashid@bk.ru
©*Сатаров К. А.*, ORCID:0009-0003-1297-3256, Ошский государственный университет,
г. Ош, Кыргызстан, ksattarov@oshsu.kg

EFFECTIVENESS OF COMPUTERIZED BIOMECHANICAL ASSESSMENT OF THROWING TECHNIQUE IN QUALIFIED WRESTLERS

©*Karabaev R.*, ORCID:0000-0001-7545-0397, Ph.D., Osh State University,
Osh, Kyrgyzstan, karabaev.rashid@bk.ru
©*Satarov K.*, ORCID:0009-0003-1297-3256, Osh State University,
Osh, Kyrgyzstan, ksattarov@oshsu.kg

Аннотация. Представлены результаты экспериментального исследования эффективности применения компьютерного биомеханического анализа при совершенствовании технической подготовки квалифицированных борцов. Цель исследования — определить влияние интегрированной системы биомеханической оценки техники бросков на показатели соревновательной деятельности спортсменов. В педагогическом эксперименте приняли участие 32 борца (мастера спорта и кандидаты в мастера спорта), разделённые на контрольную ($n=16$) и экспериментальную ($n=16$) группы. Продолжительность эксперимента составила 6 месяцев. Контрольная группа тренировалась по стандартной программе, экспериментальная группа дополнительно использовала программно-аппаратный комплекс трёхмерного биомеханического анализа движений на основе инерциальных датчиков и компьютерного видеомоделирования. Фиксировались кинематические и динамические параметры ключевых элементов бросков: угловые скорости суставов, траектория общего центра масс, временной профиль передачи усилия. В результате применения экспериментальной методики у спортсменов экспериментальной группы достоверно улучшились показатели биомеханической согласованности движений ($p < 0,05$), увеличилась результативность технических действий на соревнованиях: процент реализации бросков вырос с 38,4% до 56,7%, оценочный балл судей за технику — с 6,1 до 7,8. Установлено, что систематическая обратная связь посредством компьютерных биомеханических данных формирует более устойчивый двигательный стереотип и ускоряет процесс коррекции технических ошибок. Полученные данные подтверждают целесообразность внедрения компьютерных биомеханических технологий в систему подготовки квалифицированных борцов.

Abstract. Presents the results of an experimental study on the effectiveness of computer biomechanical analysis in improving the technical training of qualified wrestlers. The aim of the study was to determine the effect of an integrated biomechanical throw-assessment system on athletes' competitive performance. Thirty-two wrestlers (Masters of Sport and Candidates for Master of Sport) participated in the pedagogical experiment and were divided into a control group ($n=16$) and an experimental group ($n=16$). The experiment lasted six months. The control group trained according to the standard programme, while the experimental group additionally used a hardware-software complex for three-dimensional biomechanical motion analysis based on inertial sensors and computer

video modelling. Kinematic and dynamic parameters of the key throw elements were recorded: joint angular velocities, trajectory of the overall centre of mass, and the temporal force-transfer profile. As a result of the experimental methodology, athletes in the experimental group showed a significant improvement in biomechanical movement coordination ($p < 0.05$); the effectiveness of technical actions in competitions increased: the throw execution rate rose from 38.4% to 56.7%, and the judges' technical score from 6.1 to 7.8 points. It was established that systematic feedback through computer biomechanical data forms a more stable motor stereotype and accelerates the correction of technical errors. The data obtained confirm the feasibility of introducing computer biomechanical technologies into the training system for qualified wrestlers.

Ключевые слова: биомеханический анализ, борьба, спортивная подготовка, кинематика, квалифицированные спортсмены.

Keywords: biomechanical analysis, wrestling, sports training, kinematics, qualified athletes.

Современный этап развития спортивной борьбы характеризуется неуклонным ростом конкуренции на международных соревнованиях, повышением интенсивности тренировочных нагрузок и усложнением требований к технической подготовленности спортсменов [1].

В этих условиях поиск научно обоснованных методов контроля и коррекции технического мастерства борцов приобретает особую актуальность. Техника бросков в борьбе представляет собой сложноорганизованный двигательный акт, успешность выполнения которого определяется точной координацией кинематических и динамических параметров движений звеньев тела [2].

Традиционные методы педагогического контроля — визуальные наблюдения тренера, стандартизированные контрольные испытания — не позволяют получить исчерпывающую объективную информацию о биомеханических характеристиках движений [3].

Вместе с тем именно эта информация является основой для целенаправленной коррекции технических ошибок. Развитие компьютерных технологий открыло принципиально новые возможности для биомеханического контроля в спортивной практике. Инерциальные измерительные системы, алгоритмы трёхмерного захвата движений и программные среды биомеханического моделирования позволяют в режиме реального времени регистрировать пространственно-временные и силовые характеристики двигательных действий [4, 5].

Применение подобных технологий в борьбе открывает перспективу перехода от субъективной оценки техники к объективному, измеримому контролю. Несмотря на имеющиеся зарубежные исследования в области биомеханики единоборств, вопрос об эффективности применения компьютерного биомеханического анализа в системе подготовки именно квалифицированных борцов остаётся недостаточно изученным. В отечественной литературе практически отсутствуют экспериментальные данные, подтверждающие влияние биомеханической обратной связи на конкретные показатели соревновательной деятельности [6, 7].

Цель настоящего исследования — экспериментально обосновать эффективность применения компьютерной биомеханической оценки техники бросков в системе технической подготовки квалифицированных борцов.

Исследование проводилось на базе кафедры теории и методики физической культуры Ошского государственного университета (г. Ош) в период с сентября 2024 г. по февраль 2025 г. В педагогическом эксперименте приняли участие 32 борца мужского пола в возрасте 18–24 лет, имеющие квалификацию мастера спорта (МС) и кандидата в мастера спорта (КМС) по

вольной и греко-римской борьбе. Методом случайного распределения с учётом однородности исходных показателей спортсмены были поделены на контрольную группу (КГ, $n=16$) и экспериментальную группу (ЭГ, $n=16$).

Обе группы тренировались по единому тематическому плану с одинаковым объёмом и интенсивностью нагрузок (6 тренировок в неделю по 2 часа каждая). Контрольная группа использовала традиционную методику технической подготовки, основанную на словесных указаниях тренера, демонстрации образцов техники и групповых разборах ошибок. Экспериментальная группа дополнительно применяла разработанный авторами программно-методический комплекс компьютерного биомеханического анализа движений. Инструментальная основа комплекса включала: беспроводную систему инерциальных датчиков (IMU-сенсоры, 17 датчиков, частота дискретизации 100 Гц) для захвата 3D-кинематики; два синхронизированных видеокомплекса с частотой съёмки 240 кадров/с для видеобиомеханического анализа; программное обеспечение собственной разработки для визуализации биомеханических параметров и сравнения с модельными характеристиками.

Датчики фиксировались на ключевых сегментах тела (стопы, голени, бёдра, туловище, предплечья, плечи и голова) с помощью эластичных крепёжных манжет.

На каждой тренировке экспериментальной группы, проводимой два раза в неделю (итого 48 сеансов за период эксперимента), выполнялась серия из 5–7 бросков (бросок через бедро, подхват, передняя подножка, бросок через спину с захватом руки на шее). После каждой серии спортсменов немедленно получал визуализированный биомеханический отчёт: трёхмерную анимацию движения, кинематографические кривые угловых скоростей коленного, тазобедренного и плечевого суставов, траекторию общего центра масс (ОЦМ) атакующего и соотношение временных фаз броска. Тренер совместно со спортсменом проводил анализ выявленных отклонений от модельных значений и формулировал задания на следующую попытку. Регистрировались следующие биомеханические параметры: 1. Максимальная угловая скорость разгибания коленного сустава в фазе подрыва (ω_k , °/с); 2. Угол наклона туловища в момент захвата (α_t , °); 3. Время выполнения фазы подбыва ($t_{п}$, мс); 4. Скорость смещения ОЦМ по вертикали в фазе амортизации ($V_{оцм}$, м/с); 5. Коэффициент биомеханической согласованности движений (КБСД, усл. ед.) — разработанный авторами интегральный показатель, отражающий степень соответствия кинематического профиля броска модельным характеристикам элитных борцов.

Соревновательная деятельность оценивалась по двум критериям: процент реализации бросков (отношение успешно выполненных бросков к общему числу попыток, %) и средний судейский балл за технику выполнения бросков по протоколам соревнований различного уровня. Данные собирались в ходе 4 официальных турниров (два в начале и два в конце эксперимента).

Статистическая обработка материалов проводилась с использованием пакета IBM SPSS Statistics 26. Применялись методы описательной статистики ($M \pm SD$), парный t-критерий Стьюдента для оценки внутригрупповой динамики, независимый t-критерий для межгрупповых сравнений. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Полученные результаты и их обсуждение

Исходные данные биомеханических параметров техники бросков у спортсменов обеих групп в начале эксперимента статистически не различались ($p > 0,05$), что свидетельствует об исходной однородности выборок. По окончании шестимесячного педагогического эксперимента в экспериментальной группе зафиксированы достоверные улучшения по всем изучаемым биомеханическим показателям. Результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1
ДИНАМИКА БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИКИ БРОСКА ($M \pm SD$)

Показатель	КГ до	КГ после	ЭГ до	ЭГ после
$\omega_{\text{к}}$ (°/с)	312,4±18,6	324,7±17,2	309,8±19,4	358,3±14,7*
$\alpha_{\text{т}}$ (°)	34,2±4,1	32,8±3,9	33,7±4,3	28,4±3,2*
$t_{\text{п}}$ (мс)	284,6±22,3	275,3±20,8	281,9±21,7	241,5±16,4*
$V_{\text{оцм}}$ (м/с)	0,81±0,09	0,84±0,08	0,79±0,10	1,04±0,07*
КБСД (усл. ед.)	0,62±0,08	0,67±0,07	0,64±0,09	0,84±0,05*

Примечание: * — $p < 0,05$ по сравнению с показателями до эксперимента и с контрольной группой после эксперимента; КГ — контрольная группа; ЭГ — экспериментальная группа

Анализ данных Таблицы 1 свидетельствует о том, что в экспериментальной группе наблюдается достоверное увеличение максимальной угловой скорости разгибания коленного сустава в фазе подрыва на 15,6% (с 309,8 до 358,3°/с, $p < 0,05$). Это свидетельствует об улучшении взрывного характера усилия в ключевом фазовом моменте броска. В контрольной группе аналогичный показатель вырос незначительно — лишь на 3,9% ($p > 0,05$).

Угол наклона туловища в момент захвата ($\alpha_{\text{т}}$) в ЭГ уменьшился с 33,7° до 28,4°, приближаясь к модельному значению для элитных борцов (26–30°), тогда как в КГ существенных изменений не отмечено. Снижение данного показателя свидетельствует об улучшении биомеханически выгодного положения атакующего борца в критический момент выполнения броска.

Время выполнения фазы подбыва сократилось в ЭГ на 14,3% — с 281,9 до 241,5 мс ($p < 0,05$), что отражает повышение скоростного потенциала техники. В КГ аналогичный показатель изменился незначительно (на 3,3%, $p > 0,05$). Скорость смещения ОЦМ по вертикали в фазе амортизации в ЭГ достоверно выросла на 31,6% (с 0,79 до 1,04 м/с), что указывает на улучшение навыка использования силы тяжести в бросковом усилии.

Интегральный показатель биомеханической согласованности (КБСД) в ЭГ повысился с 0,64 до 0,84 усл. ед. (+31,3%, $p < 0,05$) при незначительных изменениях в КГ (0,62–0,67 усл. ед., $p > 0,05$). Динамика КБСД отражает системное улучшение координированности всех звеньев бросковой структуры, что является наиболее существенным итогом применения биомеханической обратной связи. Данные о соревновательной деятельности спортсменов представлены в Таблице 2.

Таблица 2
ПОКАЗАТЕЛИ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ($M \pm SD$)

Показатель	КГ до	КГ после	ЭГ до	ЭГ после
Реализация бросков (%)	37,9±5,2	41,3±5,6	38,4±4,9	56,7±4,3*
Судейский балл за технику	6,0±0,6	6,4±0,5	6,1±0,7	7,8±0,4*

Примечание: * — $p < 0,05$ по сравнению с показателями до эксперимента и с показателями КГ после эксперимента

Данные Таблицы 2 свидетельствуют о значительном превосходстве ЭГ над КГ по итогам педагогического эксперимента. Процент реализации бросков в ЭГ возрос с 38,4% до 56,7% (+47,7%), тогда как в КГ этот показатель изменился незначительно — с 37,9% до 41,3% (+9,0%). Различия между группами после эксперимента статистически достоверны ($p < 0,05$).

Судейский балл за технику выполнения бросков в ЭГ вырос с 6,1 до 7,8 балла (+27,9%), в КГ — с 6,0 до 6,4 балла (+6,7%). Это свидетельствует о том, что совершенствование

биомеханических параметров техники получило объективное отражение в более высоких оценках спортивного судейства. Полученные результаты согласуются с данными ряда зарубежных авторов, исследовавших эффективность биомеханической обратной связи в единоборствах. В частности, установили, что применение видеоанализа в дзюдо способствовало повышению результативности бросков на 18–22%, тогда как в нашем исследовании аналогичный показатель возрос на 47,7% [6].

Столь существенная разница может объясняться более широким охватом биомеханических параметров (использование IMU-сенсоров в дополнение к видеоанализу) и более высокой частотой биомеханических сессий обратной связи. Результаты исследования согласуются также с теоретическими положениями концепции управления двигательными действиями Н. А. Бернштейна о роли афферентных коррекций в формировании автоматизированного двигательного навыка. Компьютерная биомеханическая обратная связь, по существу, обеспечивает высококачественную проприоцептивную информацию, которую нервная система использует для уточнения эфферентных программ [8, 9].

Это ускоряет формирование устойчивого двигательного стереотипа и снижает вариативность технических ошибок. Следует подчеркнуть, что наблюдаемые улучшения биомеханических параметров были достигнуты без увеличения объема тренировочных нагрузок, что особенно важно для спортсменов высокой квалификации, у которых резервы экстенсивного повышения нагрузок практически исчерпаны [10].

Таким образом, применение компьютерного биомеханического анализа позволяет интенсифицировать процесс технической подготовки без сопутствующего роста физической нагрузки. Практическая ценность разработанной методики определяется её относительной доступностью: системы IMU-датчиков в последние годы существенно снизились в стоимости и не требуют стационарных лабораторных условий. Это открывает возможность их применения как в тренировочных залах спортивных клубов, так и на выездных учебно-тренировочных сборах.

Выводы

1. Разработанная методика применения компьютерного биомеханического анализа, основанная на использовании инерциальных датчиков и программного видеомоделирования, обеспечивает получение объективной, оперативной и наглядной информации о кинематических параметрах техники бросков в процессе тренировочной деятельности.

2. В ходе шестимесячного педагогического эксперимента у борцов экспериментальной группы зафиксированы достоверные улучшения ключевых биомеханических характеристик техники бросков: рост угловой скорости разгибания коленного сустава на 15,6%, снижение угла наклона туловища на 15,7%, уменьшение времени фазы подбива на 14,3%, рост скорости смещения ОЦМ на 31,6% и повышение коэффициента биомеханической согласованности движений на 31,3% ($p < 0,05$).

3. Применение экспериментальной методики обеспечило достоверное повышение результативности технических действий в условиях соревновательной деятельности: процент реализации бросков вырос с 38,4% до 56,7%, средний судейский балл за технику — с 6,1 до 7,8 балла ($p < 0,05$), что подтверждает практическую значимость биомеханических улучшений.

4. Полученные данные свидетельствуют о целесообразности широкого внедрения компьютерных биомеханических технологий в систему технической подготовки квалифицированных борцов как одного из эффективных средств интенсификации тренировочного процесса без увеличения объема нагрузок.

Список литературы:

1. Тараканов Б. И. Управление подготовкой борцов: теоретические и прикладные аспекты. СПб.: Олимп, 2019. 264 с.
2. Шахлина Л. Г., Футорный С. М. Биомеханические основы спортивной техники единоборцев // Наука в олимпийском спорте. 2020. №3. С. 42–51.
3. Болобан В. Н. Методика применения инструментальных методов контроля технической подготовленности спортсменов // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. 2018. №4. С. 5–12.
4. Roetenberg D., Luinge H., Slycke P. Xsens MVN: Full 6DOF human motion tracking using miniature inertial sensors // Xsens Motion Technologies BV, Tech. Rep. 2009. V. 1. №2009. P. 1-7.
5. Bartlett R. Introduction to sports biomechanics: Analysing human movement patterns. Routledge, 2014.
6. Miarka B., Coswig V. S., Vecchio F. B., Brito C. J., Amtmann J. Comparisons of time-motion analysis of mixed martial arts rounds by weight divisions // International Journal of Performance Analysis in Sport. 2015. V. 15. №3. P. 1189-1201. <https://doi.org/10.1080/24748668.2015.11868861>
7. Franchini E., Sterkowicz S., Meira Jr C. M., Gomes F. R. F., Tani G. Technical variation in a sample of high level judo players // Perceptual and motor skills. 2008. V. 106. №3. P. 859-869.
8. Бернштейн Н. А. О ловкости и её развитии. М.: Физкультура и спорт, 1991. 288 с.
9. Latash M. L. Fundamentals of Motor Control. New York: Academic Press, 2012. 342 p.
10. Платонов В. Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте: общая теория и её практические приложения. М.: Советский спорт, 2019. 824 с.
11. Скорик А. Г., Гелецкий В. М. Возможности компьютерного видеонализа в оценке технической подготовленности борцов высокой квалификации // Теория и практика физической культуры. 2021. №7. С. 64–67.
12. Иванов А. Б., Петров С. В. Применение биомеханических методов исследования в спортивной борьбе // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. 2022. №2 (204). С. 119–124.

References:

1. Tarakanov, B. I. (2019). Upravlenie podgotovkoj borcov: teoreticheskie i prikladnye aspekty. Saint-Petersburg. (in Russian).
2. Shahlina L. G., & Futornyj, S. M. (2020). Biomechanicheskie osnovy sportivnoj tehniky edinoborcev. *Nauka v olimpijskom sporte*, (3), 42–51. (in Russian).
3. Boloban, V. N. (2018). Metodika primeneniya instrumental'nyh metodov kontrolya tehnikeskoj podgotovlennosti sportsmenov. *Pedagogika, psihologiya i mediko-biologicheskie problemy fizicheskogo vospitaniya i sporta*, (4), 5–12. (in Russian).
4. Roetenberg, D., Luinge, H., & Slycke, P. (2009). Xsens MVN: Full 6DOF human motion tracking using miniature inertial sensors. *Xsens Motion Technologies BV, Tech. Rep*, 1(2009), 1-7.
5. Bartlett, R. (2014). *Introduction to sports biomechanics: Analysing human movement patterns*. Routledge.
6. Miarka, B., Coswig, V. S., Vecchio, F. B., Brito, C. J., & Amtmann, J. (2015). Comparisons of time-motion analysis of mixed martial arts rounds by weight divisions. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15(3), 1189-1201. <https://doi.org/10.1080/24748668.2015.11868861>
7. Franchini, E., Sterkowicz, S., Meira Jr, C. M., Gomes, F. R. F., & Tani, G. (2008). Technical variation in a sample of high level judo players. *Perceptual and motor skills*, 106(3), 859-869.
8. Bernshtejn, N. A. (1991). O lovкости i eyo razviti. Moscow. (in Russian).
9. Latash, M. L. (2012). Fundamentals of Motor Control. New York.

10. Platonov, V. N. (2019). Sistema podgotovki sportsmenov v olimpijskom sporte: obshchaya teoriya i eyo prakticheskie prilozheniya. Moscow. (in Russian).
11. Skorik, A. G., & Geleckij, V. M. (2021). Vozmozhnosti komp'yuternogo videoanaliza v ocenke tehnicheckoj podgotovlennosti borcov vysokoj kvalifikacii. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, (7), 64–67. (in Russian).
12. Ivanov, A. B., & Petrov, S. V. (2022). Primenenie biomehanicheskikh metodov issledovaniya v sportivnoj bor'be. *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta*, (2 (204)), 119–124. (in Russian).

Поступила в редакцию
27.06.2026 г.

Принята к публикации
10.07.2026 г.

Ссылка для цитирования:

Карабаев Р. К., Сатаров К. А. Эффективность применения компьютерной биомеханической оценки техники бросков у квалифицированных борцов // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №9. С. 497-503. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/130/58>

Cite as (APA):

Karabaev, R., & Satarov, K. (2026). Effectiveness of Computerized Biomechanical Assessment of Throwing Technique in Qualified Wrestlers. *Bulletin of Science and Practice*, 12(9), 497-503. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/130/58>